

발전소용 Y형 체크밸브에 관한 수치해석 연구

이재훈*, 김시범*^{,#}, 전략원*, 이근호*

*동아대학교 기계공학과

Numerical Analysis of Y-shaped Check Valve for Power Plant

Jae-Hun Lee*, Si-Pom Kim*^{,#}, Rock-Won Jeon*, Geun-Ho Lee*

*Dong-A. Univ. of Mechanical Engineering

(Received 11 January 2016; received in revised form 26 January 2016; accepted 30 January 2016)

ABSTRACT

Various type of valves are manufactured for different industrial uses. Among them, check valves are used to allow fluid to flow in one direction but not in the opposite direction. There are many different types of check valves, but Y-shaped check valves are widely used these days. Not many studies have been carried out on Y-shaped check valves and the flow coefficients obtained through numerical analysis have the problem of low reliability. In order to solve this problem, this study performed flow analysis, flow-structure coupled analysis, and flow coefficient measurement experimentally, and through these analyses derived and verified the flow coefficients and assessed the structural safety based on numerical analysis.

Key Words : Check Valve(체크 밸브), Flow Coefficient(유량계수), Structural Safety(구조안전성), Fluid-structure Interaction Analysis(유동-구조 연성해석)

1. 서 론

최근 산업분야에는 다양한 종류의 밸브가 사용목적에 따라 생산되고 있다.^[1] 그 중 대형 발전소에는 체크 밸브, 버터플라이 밸브, 볼 밸브, 글로브 밸브, 게이트 밸브 등의 밸브가 주로 사용되고 있다. 여기서 유체를 한 방향으로만 흐르게 하고 반대 방향으로 흐르지 못하게 하는 사용처에 주로 체크 밸브를 사용 한다.^[2] 체크 밸브의 종류는 다양하지만 그 중 Y형 체크 밸브의 수요가 점점 증가하는 추세이며, Y형 체크 밸브 설계 시 유체의 흐름을 원활하게 하여 차압이 적게 발생하도록 설계하는 것

이 매우 중요하다.^[3,4] 또한 차압이 적게 발생하기 위해 유량계수를 정확하게 측정하는 것이 요구 된다. 밸브와 관련된 유량계수는 제조사마다 다양하며, 제조사의 고유영역으로 인식되어 별도의 검증이 제대로 이뤄지지 않은 상태에서 제공되는 실정이다.^[5]

현재 발전소에 사용되는 Y형 체크 밸브에 관한 연구는 아직 미비한 실정이며, 수치해석을 통한 유량계수는 결과 값을 신뢰하기 어렵다는 문제점이 존재한다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위해 Y형 체크 밸브에 관한 수치해석연구를 통하여 유동특성 및 구조적 특성에 관한 연구 진행이 필요하다.^[6]

본 연구에서는 대형 발전소용 Y형 체크 밸브에 관한 유동해석을 통해 내부 압력변화를 관찰하였

Corresponding Author : dhxowkd31019@naver.com

Tel: +82-51-200-6985, Fax: +82-51-200-7656

다. 이 결과를 바탕으로 유량계수를 도출하고 실험을 통해 얻은 유량계수와 비교를 통해 수치해석 결과를 검증하였다. 또한 유동해석 결과 값을 유동-구조 연성해석에 적용하였으며, 연성해석을 진행하여 체크 밸브의 응력 및 변형을 변화를 관찰하고, 디스크의 개폐 정도에 따른^[7] 구조안전성을 평가하였다.

2. 수치해석

2.1 유한요소 모델

수치해석 진행을 위해 수치해석 상용프로그램인 ANSYS V14.0을 사용하였으며,^[8] 해석에 사용된 유한요소 모델은 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 (a)는 본 연구에 사용된 체크 밸브의 전체형상이며, (b)는 유동해석에 사용된 유동영역이다. 여기서 유동영역은 완전 발달된 유동을 형성하기 위해 입구측은 체크 밸브 직경의 20배, 출구측은 체크 밸브 직경의 8배로 유로를 형성하였다. 수치해석은 총 5가지 경우에 대하여 진행하였으며 각각의 변수는 Disc gap을 14mm 간격으로 14mm부터 70mm까지 설정하였으며, 디스크 간격의 기준은 Fig. 2에 나타내었다.

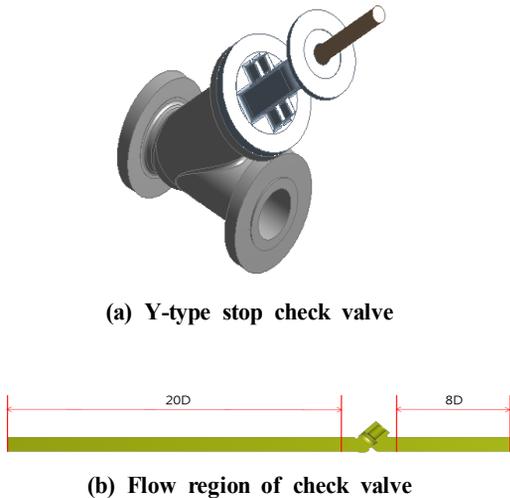


Fig. 1 3D Model and finite element model for analysis

2.2 유동해석

본 연구에서는 발전소에 사용되고 있는 Y형 체크 밸브의 작동 시 유동특성을 파악하기 위해 유동해석을 수행하였으며^[9], 해석에 필요한 경계조건은 아래 Table 1에 나타내었다.

유동해석 진행시 메인 밸브의 내부 유체의 유동이 난류모델이므로 난류모델에 대한 수치해석을 진행하기 위해 표준 난류모델을 선정할 필요가 있다. 따라서 인접한 두 지점의 속도 차이가 작은 기류를 대상으로 개발된 k-ε standard 난류 모델을 선정하여 수치해석을 진행하였다.

이 모델은 여러 제약에도 불구하고 개선되는 난류 모델의 기본으로 이용되고 있어 그 신뢰성이 높은 편이며, RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) 계열 기본 모델의 하나이므로 k-ε 난류 모델을 적용하여 수치해석을 진행하였다. 또한 유체 및 입·출구 압력조건은 메인 밸브의 사용 환경과 동일하게 적용하였다.

Table 1 Boundary condition of check valve

Boundary condition	
Fluid	Water
Turbulent model	k-ε standard
Inlet pressure	120 bar
Outlet pressure	Relative pressure

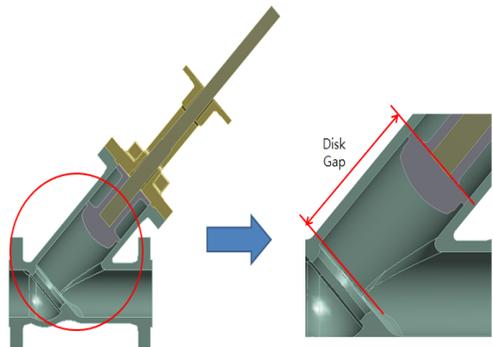


Fig. 2 Disc gap of check valve

2.3 유동-구조 연성해석

앞서 수행한 유동해석의 압력 분포를 내부 압력 조건으로 적용하여 유동 구조 연성해석을 진행하였으며, 경계조건은 체크 밸브의 관이음 부분에 강제 변위 구속 조건을 적용하여 고정하였다. 유동해석을 통해 취득한 압력분포 결과 값을 체크 밸브 구조해석 시 내부 하중조건으로 적용을 통해 실제 체크 밸브의 구조 안전성 평가에 있어 결과 값의 신뢰성을 높이기 위해 사용하였다. 수치해석에 적용된 재료는 몸체(Body), 보닛(Bonnet), 디스크(Disc), 스템(Stem) 등으로 총 4부분으로 구분하였으며, 각 부분의 재료는 아래 Table 2 에 나타내었다.

Table 2 Materiel properties for analysis

Materiel properties	
Body	ASTM A216-WCB Ultimate 480 -655 MPa Yield 275 MPa Elongation at break 22%
Bonnet	ASTM A216-WCB Ultimate 480 -655 MPa Yield 275 MPa Elongation at break 22%
Disc	ASTM A216-WCB+STL Ultimate 480 -655 MPa Yield 275 MPa Elongation at break 22%
Stem	ASTM A276-410 Ultimate 1525 MPa Yield 1225 MPa Elongation at break 14.5%

Table 3 Experimental condition

Condition	
Fluid	Water
Temperature	10.0 ± 3.0 °C
Relative humidity	52 ± 5% R.H
Working pressure	80 bar



Fig. 3 Measurement system for flow coefficient

3. 실험

유동해석을 통해 얻은 유량계수의 검증은 위해 실제 Y형 체크 밸브에 대한 유량계수 측정실험을 진행하였으며, KS B 2101:2009 규정을 적용한 인증기관(동아대학교 고기능성밸브 기술지원센터)에서 실시하였다.^[10] 실험 진행시 적용된 조건은 아래 Table 3에 나타내었으며, Fig. 3에 유량계수 측정 장치를 나타내었다.

4. 수치해석 및 실험 결과

4.1 유량계수 검증

유동해석을 통한 입구 및 출구의 압력 값을 토대로 유량계수를 계산하였으며, 실험을 통해 얻은 유량계수와 비교해 수치해석 결과 값을 검증하였다. Fig. 4에 수치해석을 통한 유량 계수와 실험을 통해 얻은 유량계수를 나타내었다.

비교결과, 다소간 차이는 있으나 실험을 통해 얻은 결과와 10% 미만의 오차를 보이므로 이는 수치해석의 결과를 신뢰할 수 있다고 판단된다. 추후 다양한 밸브에 대해서 유량계수 실험이 요구될 시, 이와 같은 방법을 활용해 실험에 대한 경우의 수를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 디스크 개폐 정도에 따른 구조안전성

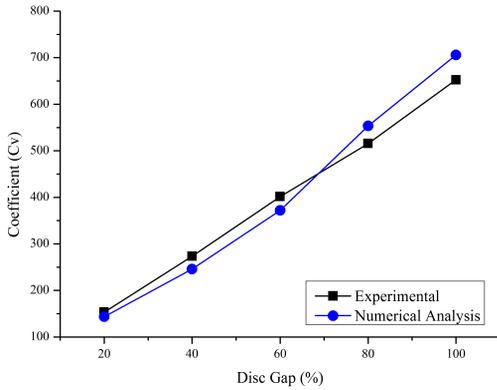


Fig. 4 Comparison of flow coefficient through experiment and numerical

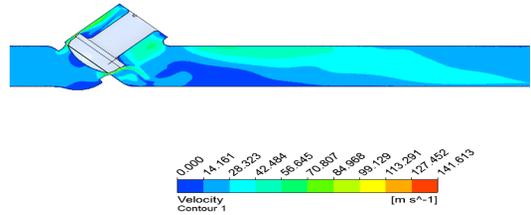
4.2.1 유동해석 결과

디스크 개폐 정도에 따른 체크 밸브의 유동특성을 분석한 결과, 디스크의 개폐정도가 14mm 간격에서는 유체의 흐름이 원활하지 못해 디스크 사이를 지난 후 유속이 느려지는 것을 확인 하였다. 또한 디스크 개폐가 70mm인 경우 앞선 14mm인 경우와 반대로 유속이 가장 빠르게 나타났다. 이는 디스크 간격이 14mm로 좁은 경우 유체의 흐름이 원활하지 못해 와류 현상이 크게 발생하는 것으로 판단되며, 정확한 유동형태를 관찰하기 위해 Fig. 5에 유동특성을 나타내었다. Fig. 5에서 (a)는 디스크 간격 14mm를 나타낸 것이고 (b)는 디스크 간격이 70mm인 경우 유동특성에 관하여 나타낸 것이다.

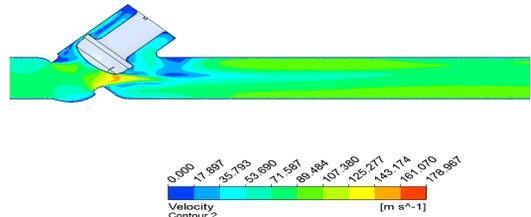
체크 밸브의 압력분포를 Fig. 6에 나타내었으며, 이는 앞서 유동특성을 나타낸 Fig. 5의 방법과 동일하게 (a), (b)로 구분하여 나타내었다.

체크 밸브의 압력분포를 분석한 결과, 디스크의 간격은 14mm인 경우 보다 70mm인 경우 디스크에 작용하는 압력이 큰 것으로 확인 되었다. 그러나 발생된 압력 값은 디스크의 재질 ASTM A216-WCB+STL의 허용응력 보다 매우 낮은 수치이므로 구조적으로 안전하다고 판단할 수 있다. 또한 나머지 변수 28mm, 42mm, 56mm의 경우는, 14mm와 70mm의 해석 결과 값에서 선형적인 결

과 값 변화를 보였다. 이는 구조 안전성 평가에 있어서 14mm인 경우와 70mm인 경우에 비해 영향도가 그리 크지 않다고 사료된다.

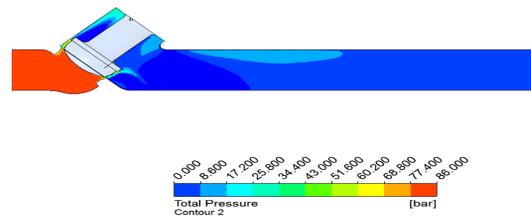


(a) Case of disc gap 14mm

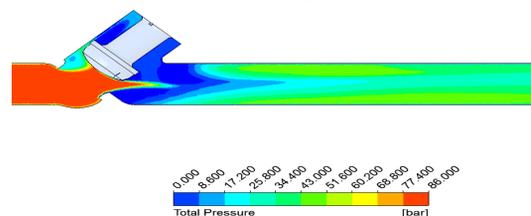


(b) Case of disc gap 70mm

Fig. 5 Flow characteristics according to the disc changes



(a) Case of disc gap 14mm



(b) Case of disc gap 70mm

Fig. 6 Pressure distribution according to the disc changes

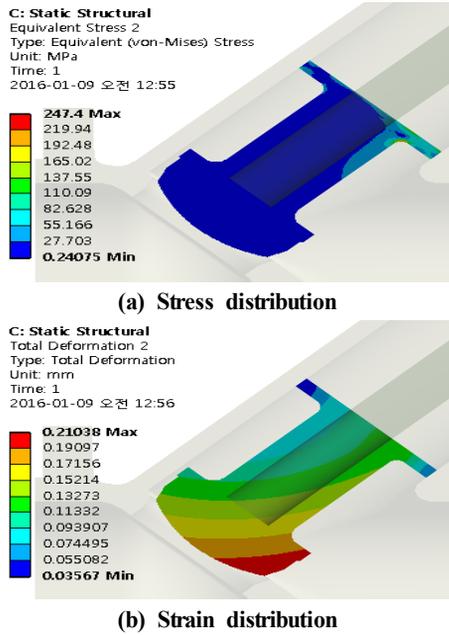


Fig. 7 Stress and strain distribution at disc (disc gap 14mm)

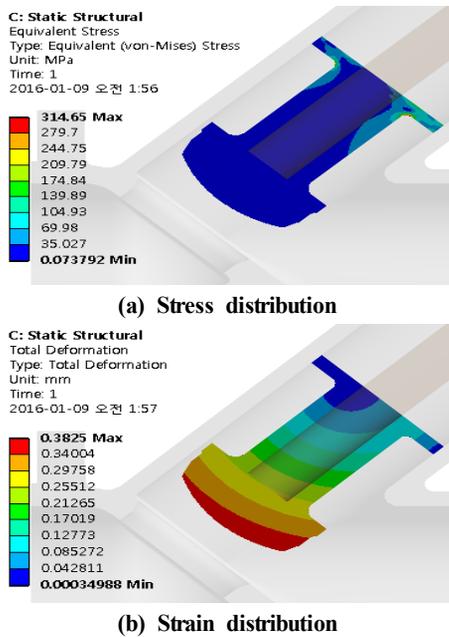


Fig. 8 Stress and strain distribution at disc (disc gap 70mm)

4.2.2 유동-구조 연성해석 결과

밸브 해석 시 단순 유동해석을 통한 구조 안전성을 평가하기에는 체크 밸브 몸체의 재질 및 유체의 접촉면에 작용되는 응력 또한 무시할 수 없으므로 유동해석 결과 값을 토대로 구조해석을 통한 내부 하중조건을 적용할 필요가 있다. 따라서 체크 밸브의 구조 안전성 평가에 있어 결과 값의 신뢰도를 높이기 위해 유동-구조 연성해석을 수행하였으며, 이를 Fig. 7과 Fig. 8에 대표 경우 14mm와 70mm에 대하여 각각 응력 및 변형률을 나타내었다. Fig. 7은 디스크 간격 14mm인 경우에서 응력 및 변형률 변화를 나타낸 것이고, Fig. 8은 디스크 간격 70mm인 경우의 응력 및 변형률 변화를 나타낸 것이다.

위의 결과를 바탕으로 디스크 개폐 간격 14mm, 28mm, 42mm, 56mm, 70mm 모든 경우에 대해서 Fig. 9에 응력 및 변형률 변화를 그래프로 나타내었다.

그 결과, 디스크가 70mm인 경우 밸브 내부에 디스크의 가장 얇은 부분에서 최대응력이 314.65MPa로 가장 높게 나타났으며, 변형률 또한 70mm 열린 경우 0.3825mm로 디스크 중심 부분의 변형이 가장 크게 나타났다. 그러나 이는 디스크 재질 ASTM A216-WCB+STL의 허용응력 보다 매우 낮은 값이므로 Y형 체크 밸브의 작동조건에서 구조강도는 안전하다고 판단된다.

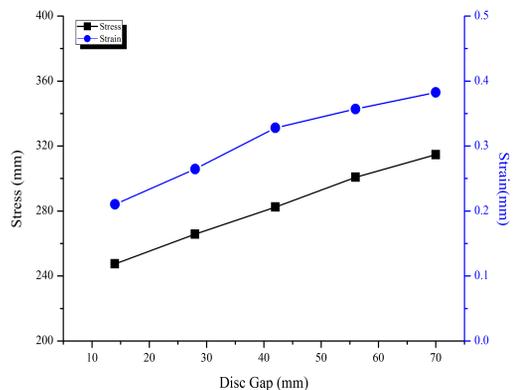


Fig. 9 Analysis results of check valve

5. 결 론

본 연구에서는 발전소용 Y형 체크 밸브에 관한 유량계수 측정 및 구조안전성에 대한 연구를 진행하였으며, 실험 및 유동해석, 유동-구조 연성해석을 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

1. Y형 체크 밸브의 유동해석을 통해 얻은 유량계수는 실험을 통해 얻은 값과 오차범위 10% 이내의 결과 값을 보이며, 이는 추후 Y형 체크 밸브의 유량계수 측정에 대한 기초자료로 적용 가능할 것으로 판단된다.
2. Y형 체크 밸브의 유동해석 결과, 디스크 부분에서 가장 높은 응력이 발생하는 것을 확인하였으며, 유동-구조 연성해석에서 또한 동일한 결과를 보인다. 이는 단순 유동해석을 통해 결과를 도출한 후 수치해석 진행에 필요한 경우의 수를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.
3. Y형 체크 밸브의 유동-구조 연성해석 결과, 최대응력 314.65MPa 및 최대변형량 0.3825mm로 나왔으나 이는 밸브 재질의 허용응력 보다 낮은 값이므로 구조적으로 안전하다.
4. 체크 밸브의 온도 조건을 상온으로 설정하였으나 추후 연구에서 저온 및 고온에 적합한 체크 밸브에 관한 연구 및 개발이 요구된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부 지정 지역혁신센터사업(RIC) 고기능성밸브기술지원센터 지원으로 수행되었음.

REFERENCES

1. Park, S. H., Kim, H. S. and Bae, H. E., "A Study on the Processing and Analysis of Titanium Inline Check Valve", Proceedings of KSME 2013 Autumn Annual Meeting, pp.

- 3621-3624, 2013.
2. Lee, S. Y., Jeon, J. S. and Lyou, J., "Realization of Remote Condition Monitoring System for Check Valve", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 11, No. 8, pp. 662-668, 2005.
3. Ko, Y. J., Cho, W. and Ahn, Y. M., "A Study About PDMS-Glass Based Thermopneumatic Micropump Integrated with Check valve", Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, Vol. 32, No. 9, pp. 720-727, 2008.
4. Hwang, J. S. and Yeom, M. S., "Effect of Open Position of Nozzle Check Valve Disc on Valve Performance", Proceedings of KSME 2015 Spring Annual Meeting, pp. 328-329, 2015.
5. Kim, U. J., Choi, H. K., Yoo, G. J., Yoon, J. H., Dong, W. R., "Numerical Analysis on Flow Characteristics according to Valve Stoke in Axial Flow Check Valve", Proc. KSPE Autumn Conf., pp. 536-537, 2014.
6. Ha, J. S. and Lee, B. Y., "A Study on the Steam Hammering Characteristics by Sudden Closure of Main Stop Valve in the Main Steam Piping System of a Power Plant", Journal of the Korean Institute of Gas, Vol. 17 No. 2, pp. 70-77, 2013.
7. Kwak, H. M., Cho, J. S., Kim, J. D., Lee, J. H., "A Study on Flow Coefficient and Flow Characteristics for Butterfly Valve by Numerical Analysis", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 62-66, 2012.
8. Choi, W. J., Kim, J. Y., Kim, H. B., Cho, C. D., "Optimum Design of the Swing Check Valve using by 2-way FSI Analysis", Proceedings of KSME 2008 Spring Annual Meeting, pp. 70-75, 2008.
9. Park, Y. C., Park, H. S., Kim, S. P., "Analysis Method on Structural Safety Evaluation of Butterfly Valve of Piping for LNG Carrier", Journal of the Korean Society of Manufacturing

Process Engineers, Vol. 7, No. 4, pp. 76-81, 2008.

10. Kim, S. P., Lee, J. H., Lee, K. H., Jeon, R. W., Do, T. W., "Thermal-structural Coupled Field Analysis for Fire Safety Type Ball Valve", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 28-32, 2011.